

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2003年8月7日 (07.08.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/065519 A1

(51) 国際特許分類: H01S 3/05
(21) 国際出願番号: PCT/JP02/08114
(22) 国際出願日: 2002年8月8日 (08.08.2002)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ:
特願2002-25040 2002年2月1日 (01.02.2002) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 科学技術振興事業団 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY CORPORATION) [JP/JP]; 〒332-0012 埼玉県 川口市 本町四丁目1番8号 Saitama (JP).
(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 平等 拓範

(TAIRA, Takunori) [JP/JP]; 〒444-0874 愛知県 岡崎市 竜美南二丁目2番1号 竜美ヶ丘公務員宿舎 7-2 2 Aichi (JP). 庄司 一郎 (SHOJI, Ichiro) [JP/JP]; 〒444-0874 愛知県 岡崎市 竜美南二丁目2番1号 竜美ヶ丘公務員宿舎 8-2 3 Aichi (JP).

(74) 代理人: 清水 守 (SHIMIZU, Mamoru); 〒101-0053 東京都 千代田区 神田美土代町7番地10 大園ビル Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): CA, CN, KR, US.

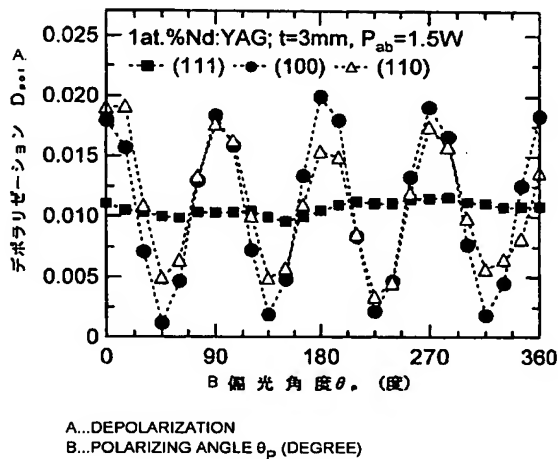
(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL ELEMENT

(54) 発明の名称: 光学素子



(57) Abstract: An optical element capable of significantly reducing a heat double refraction effect, wherein depolarization caused by heat-induced double refraction is greatly reduced by using a (110)-cut crystal without any compensation. Depolarization can be reduced by a factor of more than ten compared with the (111)-cut crystal.

(57) 要約:

熱複屈折効果を大幅に低減させることができる光学素子を提供する。

光学素子において、(110)カット結晶を用いることにより、熱誘起複屈折により生じるデポラリゼーションを、何ら補償を行うことなく、大幅に低減する。

(111)カット結晶と比べて、デポラリゼーションを一桁以上も小さくすることができる。

BEST AVAILABLE COPY

WO 03/065519 A1



2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

光学素子

技術分野

本発明は、光学素子に係り、特に、YAGレーザーに関するものである。

背景技術

従来、本発明にかかる参考文献として以下に示すようなものがあった。

[1] : W. Koechner, Solid-State Laser Engineering (Springer-Verlag, Berlin, 1996), pp. 393-412.

[2] : W. C. Scott and M. de Wit, "Birefringence compensation and TEM₀₀ mode enhancement in a Nd:YAG laser," Appl. Phys. Lett. 18, 3-4 (1971).

[3] : K. Yasui, "Efficient and stable operation of a high-brightness cw 500-W Nd:YAG rod laser," Appl. Opt. 35, 2566-2569 (1996).

[4] : W. A. Clarkson, N. S. Felgate, and D. C. Hanna, "Simple method for reducing the depolarization loss resulting from thermally induced birefringence in solid-state lasers," Opt. Lett. 24, 820-822 (1999).

[5] : W. Koechner and D. K. Rice, "Effect of birefringence on the performance of linearly polarized YAG:Nd laser

s, " IEEE J. Quantum Electron. QE-6, 557-566 (1970).

[6]: W. Koechner and D. K. Rice, "Birefringence of YAG:Nd laser rods as a function of growth direction," J. Opt. Soc. Am. 61, 758-766 (1971).

[7]: I. Shoji, Y. Sato, S. Kurimura, V. Lupoi, T. Taira, A. Ikesue, and K. Yoshida, "Thermal birefringence in Nd:YAG ceramics," Trends in Optics and Photonics Vol. 50, Advanced Solid-State Lasers, C. Marshall, ed. (Optical Society of America, Washington, DC 2001), pp. 273-278.

[8]: L. N. Soms, A. A. Tarasov, and V. V. Shashkin, "Problem of depolarization of linearly polarized light by a YAG:Nd³⁺ laser-active element under thermally induced birefringence conditions," Sov. J. Quantum Electron. 10, 350-351 (1980).

[9]: V. Parfenov, V. Shashkin, and E. Stepanov, "Numerical investigation of thermally induced birefringence in optical elements of solid-state lasers," Appl. Opt. 32, 5243-5255 (1993).

固体レーザーの高出力化、高品質化を図る際に、励起に伴って媒質内で生じる熱複屈折は大きな問題となる。熱複屈折によって生じるデポラリゼーション（もとの直線偏光に対して垂直方向に発生した偏光成分の割合； $D_{pol} = P_{\perp} / P_{initial}$ ）を補償して直線偏光を得るために、これまでレーザー媒質の配置や光学

素子との組み合わせなどにさまざまな工夫がなされてきた。

固体状態のレーザー材料において励起に伴い誘起される熱複屈折効果は、レーザーの高出力、高品質化を図る上で深刻な問題である。なぜならば、直線的に偏光したビームの2焦点化(bifocusing)やデポラリゼーションを引き起こすからである(参考文献[1])。

これらの現象はYAGなどの固体レーザーの高出力化の際に大きな障害となった。これまでは発生したデポラリゼーションを補償するために、 90° 回転子(rotator)や、4分の1波長板などを用いたいくつかの技術が提案された(参考文献[2]～[4])。こうした補償は、(111)カットのYAG結晶のみに対して適用された。その理由は、(111)面の複屈折は円形に対称(circularly symmetrical)であることと、もう一つは、YAGロッドは通常(111)方向に沿って成長するために、(111)カットのロッドを用いることは都合が良いからである。

このように、代表的なレーザー材料であるYAG結晶は、従来(111)方向に成長したロッドが用いられてきた。

発明の開示

しかしながら、上記したように、従来のYAGレーザーでは、光の伝搬方向を(111)軸方向に設定していたため、励起に付随して発生する熱誘起歪みによる光弾性効果から生ずる複屈折(熱複屈折)を解消するために、共振器内部に余計な光学部品を挿入したり、ジグザグスラブ形式にするなど特殊な形状配置を採用する必要があった。

本発明は、上記状況に鑑み、熱複屈折効果を大幅に低減させることができる光学素子を提供することを目的とする。

本発明は、上記目的を達成するために、

[1] 光学素子において、光伝搬方向を等軸晶系に属する結晶の(111)軸方向以外に選び、中心対称的に誘起されるストレスによる光弾性効果に基づく複屈折効果を低減することを特徴とする。

[2] 上記[1]記載の光学素子において、前記光伝搬方向を結晶の(10

0) 方位に選ぶことを特徴とする。

〔3〕上記〔1〕記載の光学素子において、前記光伝搬方向を結晶の(110)方位に選ぶことを特徴とする。

図面の簡単な説明

第1図は、デポラリゼーションの偏光方向依存性の測定結果を示す図である。

第2図は、本発明にかかるデポラリゼーションの吸収励起パワー依存性計算結果を示す図である。

第3図は、参考文献〔5〕、〔6〕の理論を用いて計算した、(111)、(100)及び(110)面における、デポラリゼーションの吸収励起パワーへの依存性を示す図である。

第4図は、(111)、(100)及び(110)面における、 θ と Φ との関係を示す図である。

第5図は、各面における $\Omega r^2 / r_0^2$ の計算値を Φ の関数として示す図である。

第6図は、 $r_a = r_0$ の場合の、(111)、(100)及び(110)面における、デポラリゼーションの吸収励起パワーへの正確な依存性を示す図である。

第7図は、第6図における低吸収パワー領域を水平方向に拡大した図である。

第8図は、(111)、(100)及び(110)面における、測定結果に基づくデポラリゼーションの吸収励起パワーへの依存性を示す図である。

第9図は、 $r_a = r_0 / 4$ の場合の、(111)、(100)及び(110)面における、デポラリゼーションの吸収励起パワーへの依存性を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

まず、本発明の第1実施例を示す、(100)カットのYAG結晶による熱誘起複屈折デポラリゼーションの低減について説明する。

YAGを始めとする立方晶系結晶では、光の伝播方向が(111)面に垂直な場合、熱分布が軸対称であれば面内での熱複屈折は角度に依存せず一定となる。

一方、(111)面以外では角度依存性を持つ。

第1図はかかるデポラリゼーションの偏光方向依存性の測定結果を示す図である。ここで、横軸は偏光角度 θ_p (度)、縦軸はデポラリゼーション $D_{p,0}$ を示している。第2図は本発明にかかるデポラリゼーションの吸収励起パワー依存性計算結果を示す図であり、横軸は吸収励起パワー P_{ab} (W)、縦軸はデポラリゼーション $D_{p,0}$ を示している。

過去にKoechnerとRiceはさまざまな面方位で熱複屈折の角度依存性を計算し、吸収励起パワーが小さいときには適当な面方位と偏光方向を選べば、(111)面よりもデポラリゼーションを低減できるが、吸収励起パワーが一定値を越えると、面方位による差異はほとんど無くなると主張した(第2図の点線参照)。彼らは、その際、どの面方位でも複屈折が軸対称面内の動径方向と接線方向との間で起こるとしていた。ところが、実際には、それは(111)面に対してのみ正しく、他の面では複屈折軸が動径・接線方向とは一致せずに、そのずれの大きさが角度依存性を持つことが分かった。

本願発明者らはその影響を考慮して再度デポラリゼーションの吸収励起パワー依存性を計算したところ、どんなに吸収励起パワーが大きくても、(100)面内で結晶軸と 45° の角度をなす直線偏光では、(111)面内の直線偏光に対してデポラリゼーションを半分以下に低減できることが明らかになった(第2図実線参照)。

次に、本発明の第2実施例について説明する。

ここでは、(110)カットのYAG結晶による熱誘起複屈折デポラリゼーションの低減について説明する。

デポラリゼーションは、もとの直線的に偏光したレーザ光に対する、偏光解消パワー (depolarized power) の割合として定義し、次式により与えられる。

$$D_{p,0} = \frac{1}{\pi r_0^2} \int_0^{r_0} \int_0^{2\pi} D r d\Phi dr, \quad \dots (1)$$

円筒状のロッドにおける、ビーム伝搬方向 (z 軸) に垂直な面での各点 (r,

Φ)における、デポラリゼーションの全体量Dは、次式となる。

$$D = \sin^2 [2(\theta - \gamma)] \sin^2 (\Psi/2) \quad \dots (2)$$

ここで、 θ はx軸と、複屈折固有ベクトル(xy平面上の屈折率楕円の主軸)のうちの1つとの間の角度であり、 γ はx軸と、もとの偏光方向との間の角度である。位相差 Ψ は、熱誘起複屈折 Δn により、

$$\Psi = (2\pi/\lambda) \Delta n L; \quad \Delta n = \Omega S (r^2/r_0^2);$$

$$S = [\alpha_1 / (1 - \nu)] (\eta_h P_{ab} / 16\pi\kappa L) \quad \dots (3)$$

により与えられる。一様なポンピング(uniform pumping)の場合、 λ はレーザー波長、 Ω は光弾性係数により与えられる複屈折パラメーター、 r_0 はロッド半径、 α_1 は線膨脹係数、 ν はポアッソン比、 η_h は励起パワーのうち熱に変換される割合(fractional thermal loading)、 P_{ab} は吸収励起パワー、 κ は熱伝導率、 L はロッド長である。

KoechnerとRiceは、様々な方向からNd:YAGロッドの熱誘起複屈折を分析し(参考文献[5]、[6])、第3図に示すように、高吸収パワー領域の極限では、デポラリゼーションの量はロッド方向に依存しないという結論を出した。しかし、この理論には二つの誤りがある。一つは、どの面においても $\theta = \Phi$ としているが、これは(111)面にしか当てはまらない。なぜならば、(111)、(100)、(110)面における θ と Φ との正確な関係はそれぞれ、

$$\tan 2\theta = \tan (2\Phi) \quad \dots (4a)$$

$$\tan 2\theta = [2p_{44} / (p_{11} - p_{12})] \tan (2\Phi) \quad \dots (4b)$$

$$\tan 2\theta = [8p_{44} \tan (2\Phi)] /$$

$$\{3(p_{11} - p_{12}) + 2p_{44} - (p_{11} - p_{12} - 2p_{44})$$

$$[2 - (r_0^2/r^2)] [1/\cos (2\Phi)]\} \quad \dots (4c)$$

により与えられるからである。ここで、 p_{mn} は光弾性係数テンソルであり、(100)面における θ の Φ への依存性を第4図の長点線で示している。(110)面における依存性は、 r 値が異なると変化し、第4図の点線で示している。もう一つの誤りは、各面における Ω 値である。参考文献[5]、[6]では、 Ω を上

記式(3)で $r=r_0$ に固定して再定義した。(111)、(100)及び(110)面における正確な Ω はそれぞれ、

$$\Omega = (1/3) n_0^3 (1+\nu) (p_{11}-p_{12}+4p_{44}) \quad \dots (5a)$$

$$\Omega = n_0^3 (1+\nu) [(p_{11}-p_{12})^2 \cos^2(2\Phi) + 4p_{44}^2 \sin^2(2\Phi)]^{1/2} \quad \dots (5b)$$

$$\Omega = n_0^3 (1+\nu) [(1/16) \{ [3(p_{11}-p_{12})+2p_{44}] \cos(2\Phi) - (p_{11}-p_{12}-2p_{44}) [2-(r_0^2/r^2)] \}^2 + 4p_{44}^2 \sin^2(2\Phi)]^{1/2} \quad \dots (5c)$$

により与えられる。再定義をしても(111)および(100)面における Ω は変化しないが、(110)面では Ω が r に依存しているため正確な値は得られない。

なお、第5図では各面における $\Omega r^2 / r_0^2$ の計算値を Φ の関数として示している。(111)及び(100)面では、 r 値が変化すると大きさだけが変化し形は変わらない(相似形)が、(110)面では、大きさだけでなく形も変化する。

第6図に、レーザー光の半径 r_a がロッド半径 r_0 に等しい場合の、吸収励起パワーに対するデポラリゼーションの正確な依存性を示す。また、第6図における低吸収パワー領域の拡大図を第7図として示す。

デポラリゼーションは、高吸収パワー領域においても面方位および偏光方向に依存し、 $r_a=r_0$ の場合、(111)、(100)及び(110)面のうち(100)面における 45° 偏光の場合に最も小さくなり、高吸収パワー領域では(111)面の2分の1、低吸収パワー領域では6分の1である。参考文献[7]に記載されている励起プローブ測定を用いて、本願発明者らの計算が正しいことが実験により証明された。

実験ではエンド・ポンピングにより評価したので、絶対値は異なるが、第8図に示す実験データの相対値は、第7図の理論上の曲線とほぼ合致しており、参考文献[5]、[6]の曲線とは合致しない。

参考文献[5]、[6]の理論の2つの誤りのうち、(111)を除く他の面において、 θ が Φ と一致しないという事実はすでに指摘されていたが、デポラリ

ゼーションの依存性は(100)面に対してだけしか正確に得られなかった(参考文献[8],[9])。しかしながら、本願発明者らは、 r_a が r_0 より小さいという条件の下で(110)カットのロッドを用いることにより、デポラリゼーションが大幅に低減できることを発見した。

第4図に示すように、 r が r_0 程度に大きい場合、 θ は Φ に近くなる。つまり、各点における固有ベクトルの向きが、ほぼ半径方向および接線方向となる。

一方、 r が小さい場合、いずれの Φ における θ も 0° または 90° に近くなる。このことは、すべての固有ベクトルがX軸方向およびY軸方向に直線上に並んでいることを意味している。この特性により、偏光方向がX軸またはY軸方向に近い場合、ロッド半径より小さな半径を有するビームであれば、ほとんどデポラリゼーションせずに、ロッドを通して伝搬することができる。

第9図は、 $r_a = r_0 / 4$ の場合の、吸収励起パワーに対するデポラリゼーションの依存性の例を示している。(100)面におけるデポラリゼーション量は(111)面の半分に過ぎないが、(110)面においては Δn そのものは(111)面より(110)面の方が大きいにもかかわらず、(111)面のほぼ1/50に低減している。こうした条件は、一様なポンピングの場合、アパーチャー(開口)によりビームサイズを制御して実現することができる。

一方、エンド・ポンピングの場合は、集束した励起ビームそのものがゲイン・アパーチャーの役割を果たすために、この条件を容易に満たすことができる。ドーピングしたYAGがドーピングしていないYAGに取り囲まれているような複合材料でも、同様の条件を実現できる。

結論として、参考文献[5],[6]の論文における誤りは、理論からも実験からも実証され、デポラリゼーションは、(100)および(110)面を用いることにより、本質的に低減できることがわかった。特に、小さな半径を有するビームと組み合わせた(110)カット結晶を用いることにより、(111)カット結晶を用いた場合と比べて、一桁以上もデポラリゼーションを低減することができる。

このように構成したので、Y₃Al₅O₁₂レーザーにおける、熱複屈折効果によるデポラリゼーションは、(111)以外の方向のロッドカットを用いること

により、補償なしで本質的に低減できる。(110)カット結晶を使用することによって、従来の(111)カット結晶を使用した場合に比べて、デポラリゼーションを1/10以下に削減することが期待できる。

なお、上記実施例によれば、YAGレーザーを例に挙げて説明しているが、YAGレーザーに限らず、他の等軸結晶系の結晶を用いた光学素子に適用できるものであり、その光学素子のデポラリゼーションを低減することができるものである。

また、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。

以上、詳細に説明したように、本発明によれば、以下に示すような効果を奏することができる。

(A) 光の伝搬方位を(111)軸方位以外に選ぶだけで、熱複屈折効果を減少させることができる。

(B) (100)又は(110)カットの試料を用いれば、熱複屈折効果を大幅に低減することができる。

(C) 特に、(110)カット媒質を使用することによって、(111)カット媒質を使用した場合に比べて、デポラリゼーションを一桁以上補償なしに削減することができる。

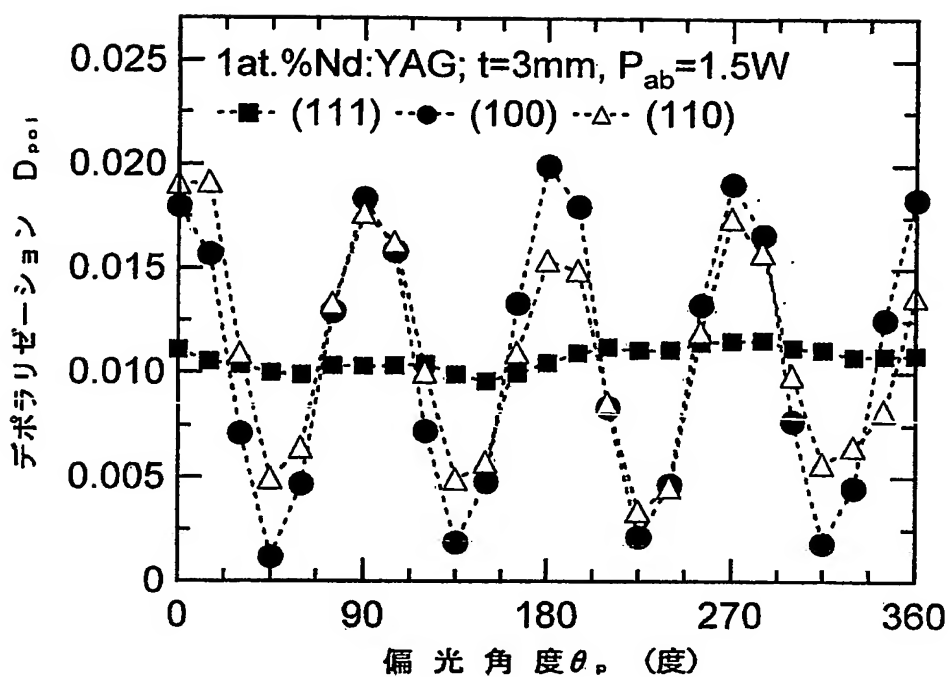
産業上の利用可能性

本発明の光学素子は、特に、光伝搬方向を結晶の(110)方位に選ぶことにより、熱複屈折効果を大幅に低減させることができ、熱問題を解決する固体レーザーに好適である。

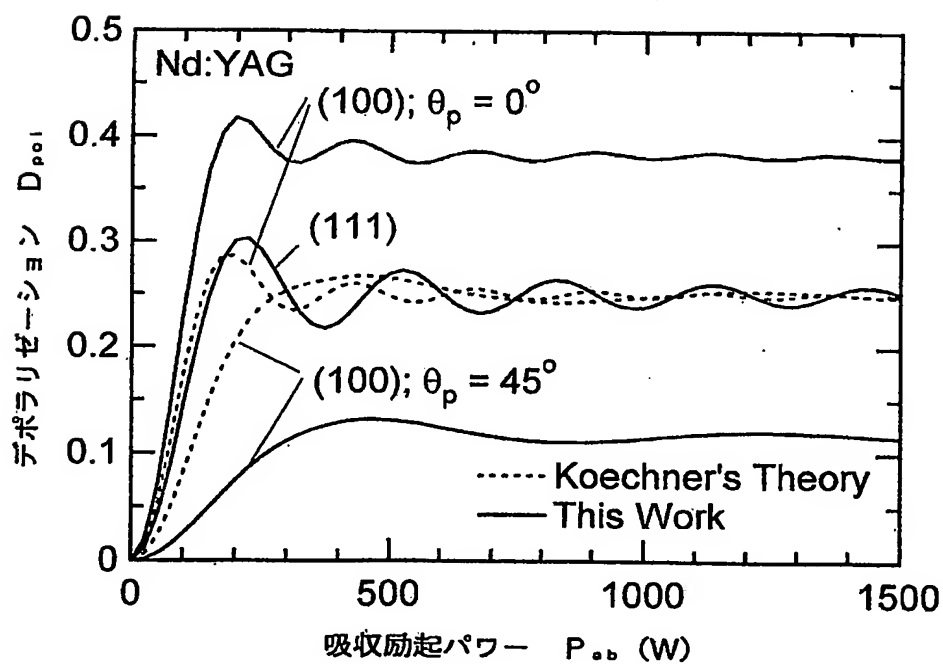
請 求 の 範 囲

1. 光伝搬方向を等軸晶系に属する結晶の(1 1 1)軸方向以外に選び、中心対称的に誘起されるストレスによる光弾性効果に基づく複屈折効果を低減することを特徴とする光学素子。
2. 請求項1記載の光学素子において、前記光伝搬方向を結晶の(1 0 0)方位に選ぶことを特徴とする光学素子。
3. 請求項1記載の光学素子において、前記光伝搬方向を結晶の(1 1 0)方位に選ぶことを特徴とする光学素子。

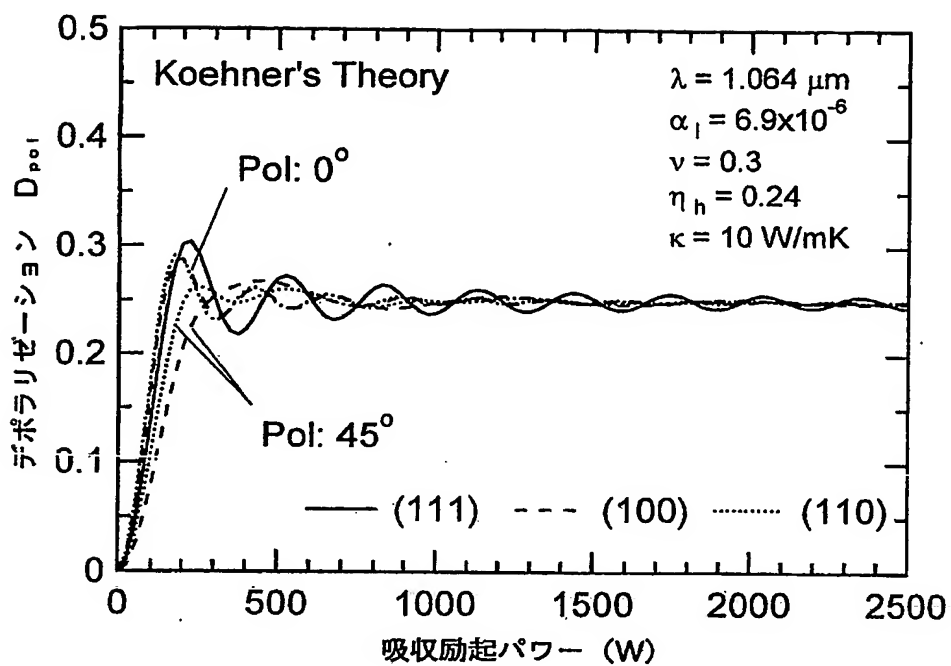
第 1 図



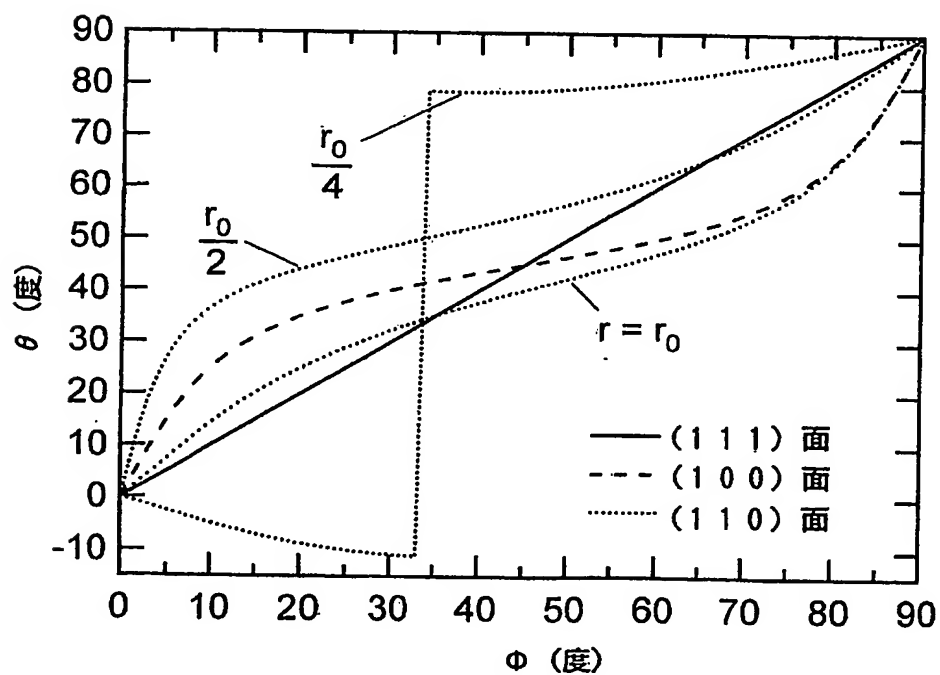
第 2 図



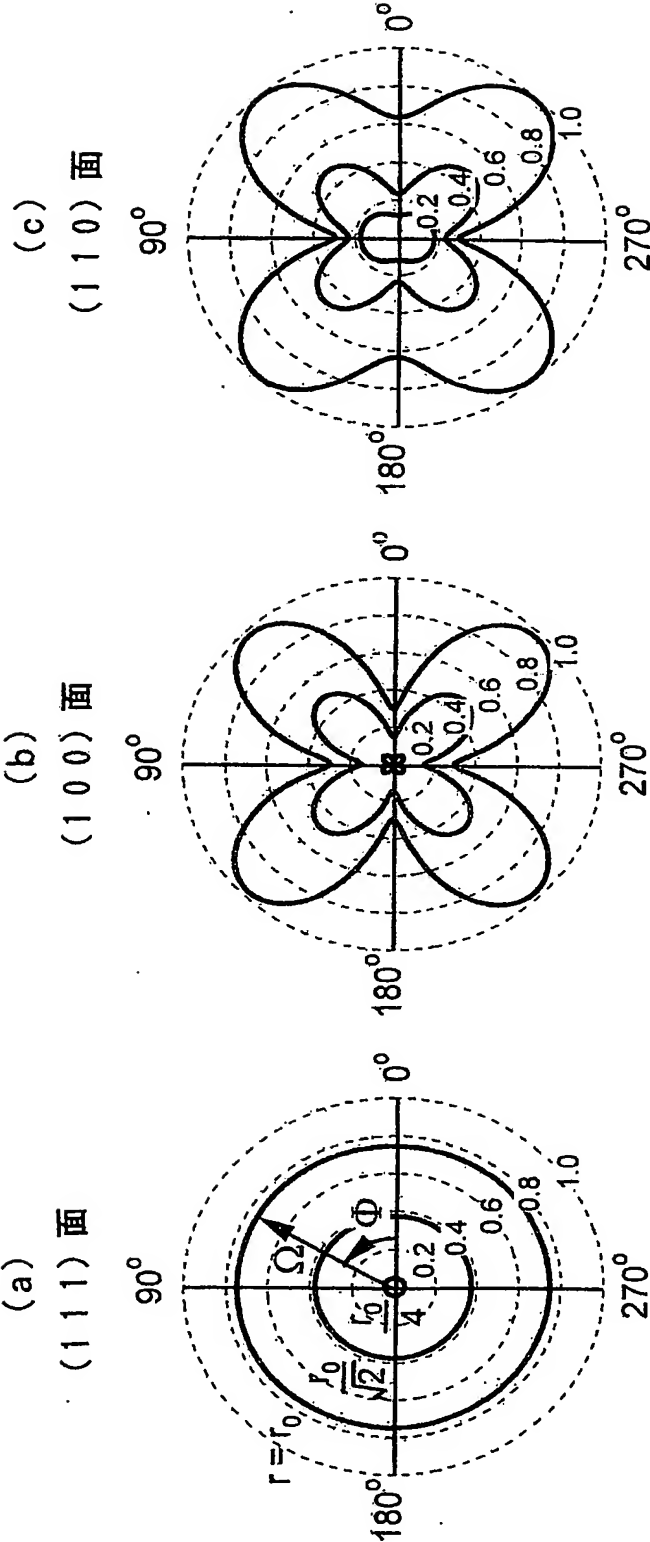
第 3 図



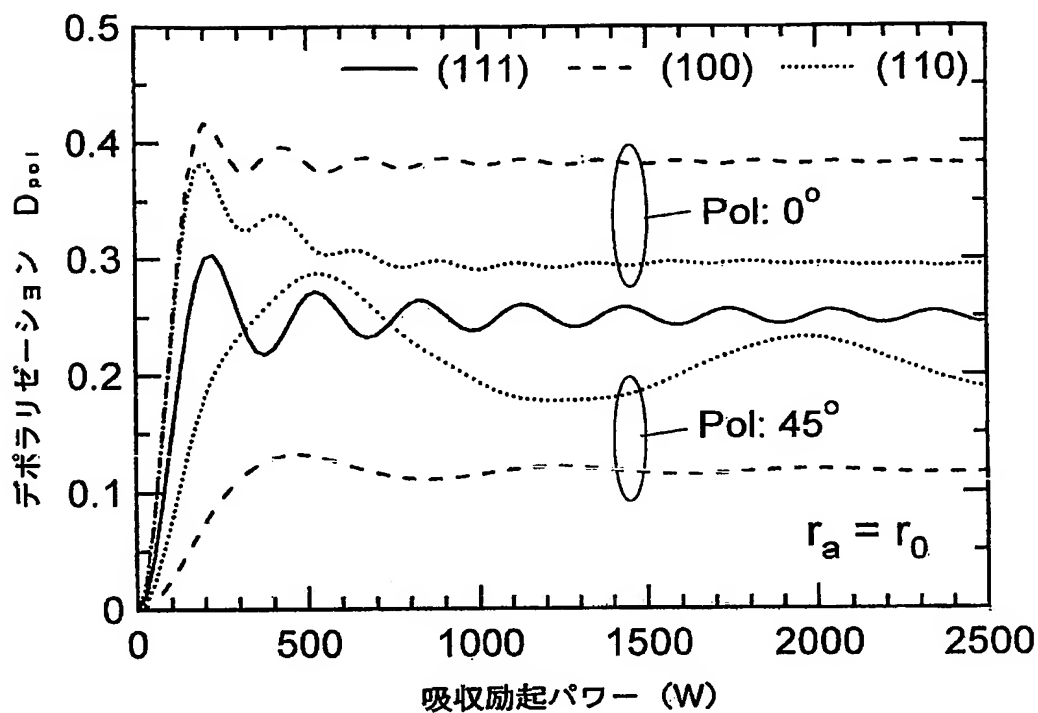
第 4 図



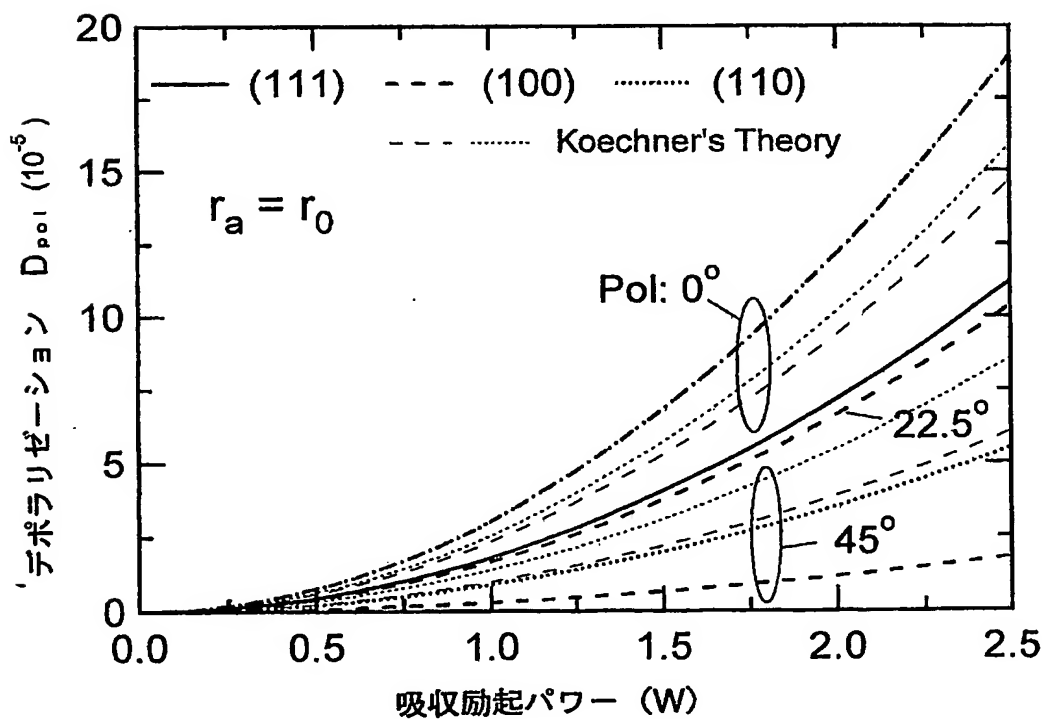
第 5 図



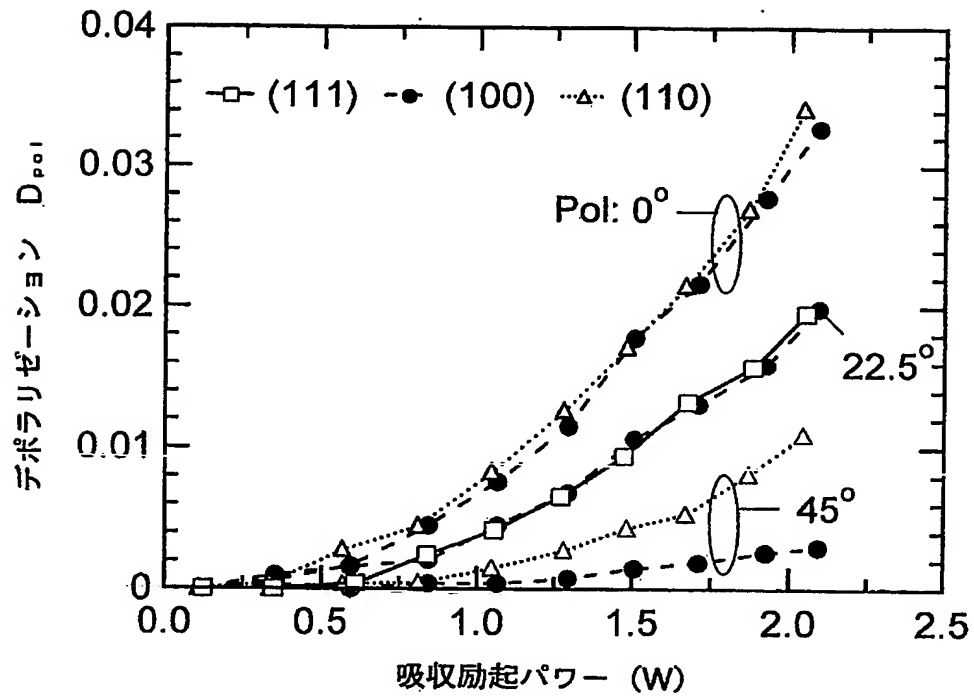
第 6 図



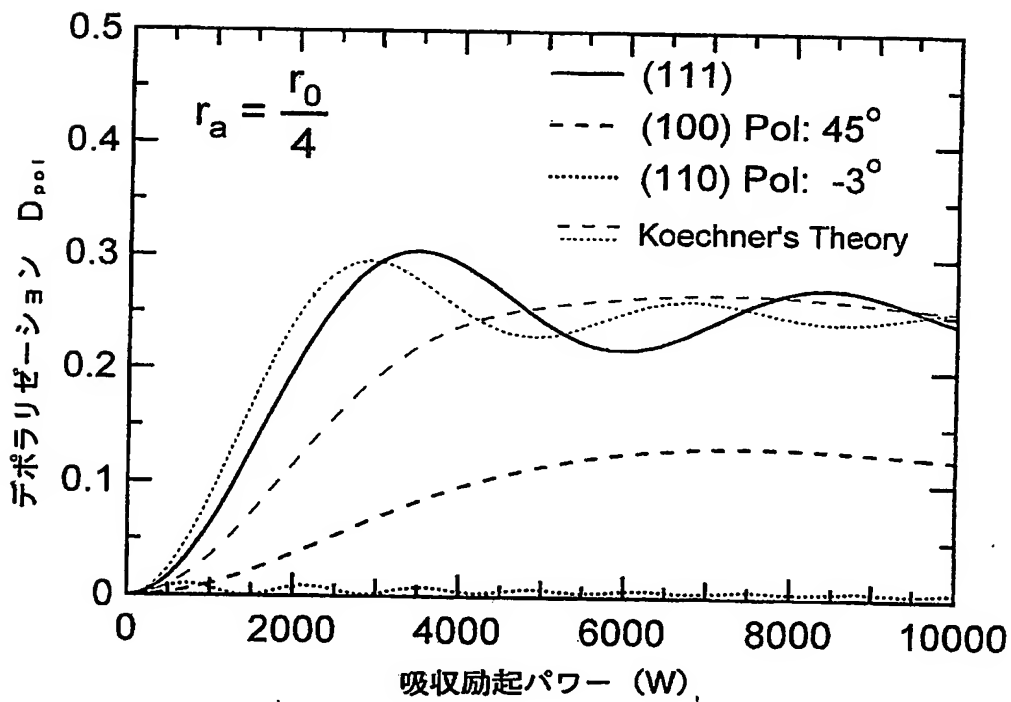
第 7 図



第 8 図



第 9 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/08114

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H01S3/05

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01S3/00-3/23

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2002	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Ichiro SHOJI et al., "(100) Cut no YAG Kessho ni yoru Netsufuku Kussetsu Yuki Depolarization no Teigen", Dai 62 Kai Extended abstracts; the Japan Society of Applied Physics, 11 September, 2001 (11.09.01), Vol.3, 12a-ZK-3, page 799	1, 2
P, X	Ichiro SHOJI et al., "(110) Cut no YAG Kessho ni yoru Netsufuku Kussetsu Yuki Depolarization no Teigen", Dai 49 Kai Oyo Butsurigaku Kankei Rengo Koenkai Koen Yokoshu, 27 March, 2002 (27.03.02), Vol.3, 30p-ZG-6, page 1058	1, 3
P, X	Ichiro SHOJI et al., "Intrinsic reduction of the depolarization loss in solid-state lasers by use of a (110)-cut Y ₃ Al ₅ O ₁₂ crystal", Applied Physics Letters, 29 April, 2002 (29.04.02), Vol.80, No.17, pages 3048 to 3050	1-3

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
18 September, 2002 (18.09.02)Date of mailing of the international search report
15 October, 2002 (15.10.02)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/08114

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,X	Ichiro SHOJI et al., "Thermal-birefringence-induced depolarization in Nd:YAG ceramics", Optics Letters, 15 February, 2002 (15.02.02), Vol.27, No.4, pages 234 to 236	1-3
A	S. ISHIBASHI et al., "Cr,Ca: Y ₃ Al ₅ O ₁₂ laser crystal grown by the laser-heated pedestal growth method", Journal of Crystal Growth, February 1998, Vol.183, pages 614 to 621	1-3
A	Yang Peizhi et al., "The growth defects in Czochralski-grown Yb:YAG crystal", Journal of Crystal growth, September 2000, Vol.218, pages 87 to 92	1-3
A	US 5851284 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 22 December, 1998 (22.12.98), Full text; all drawings & JP 9-202699 A Full text; all drawings	1-3
A	JP 5-330991 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 14 December, 1993 (14.12.93), Full text; all drawings (Family: none)	1-3
A	W. Koechner et al., "Effect of birefringence on the performance of linearly polarized YAG:Nd lasers, IEEE Journal of Quantum Electronics", June 1970, QE-6, pages 557 to 566	1-3
A	W. Koechner et al., "Birefringence of YAG:Nd laser rods as a function of growth direction", Journal of the Optical Society of America, June 1971, Vol.61, No.6, pages 758 to 766	1-3
A	Vladimir Parfenov et al., "Numerical investigation of thermally induced birefringence in optical elements of solid-state lasers", Applied Optics, 20 September, 1993 (20.09.93), Vol.32, No.27, pages 5243 to 5255	1-3
A	I. SHOJI et al., "Thermal birefringence in Nd:YAG ceramics", Trends in Optics and Photonics Vol.50, advanced Solid-State Lasers, 2001, pages 273 to 278	1-3
A	L.N. Soms et al., "Problems of depolarization of linearly polarized light by a YAG:Nd laser active element under thermally induced birefringence conditions", Sov.J.Quantum Electronics, March 1980, Vol.10, No.3, pages 350 to 351	1-3

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01S3/05

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01S3/00-3/23

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2002年
 日本国登録実用新案公報 1994-2002年
 日本国実用新案登録公報 1996-2002年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	庄司一郎 他, ' (100) カットのYAG結晶による熱複屈折誘起デポラリゼーションの低減', 第62回応用物理学会学術講演会講演予稿集, 2001. 09. 11, 第3巻, 12a-ZK-3, p. 799	1, 2
P, X	庄司一郎 他, ' (110) カットのYAG結晶による熱複屈折誘起デポラリゼーションの低減', 第49回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 2002. 03. 27, 第3巻, 30p-ZG-6, p. 1058	1, 3

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18. 09. 02

国際調査報告の発送日

15.10.02

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

河原 正



2K 9017

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
P, X	Ichiro Shoji et al, 'Intrinsic reduction of the depolarization loss in solid-state lasers by use of a (110)-cut $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ crystal', Applied Physics Letters, 29 April 2002, Vol. 80, No. 17, p. 3048-3050	1 - 3
P, X	Ichiro Shoji et al, 'Thermal-birefringence-induced depolarization in Nd:YAG ceramics', Optics Letters, 15 February 2002, Vol. 27, No. 4, p. 234-236	1 - 3
A	S. Ishibashi et al, 'Cr, Ca: $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ laser crystal grown by the laser-heated pedestal growth method', Journal of Crystal Growth, February 1998, Vol. 183, p. 614-621	1 - 3
A	Yang Peizhi et al, 'The growth defects in Czochralski-grown Yb:YAG crystal', Journal of Crystal Growth, September 2000, Vol. 218, p. 87-92	1 - 3
A	US 5 8 5 1 2 8 4 A (Nippon Telegraph and Telephone Corporation) , 1 9 9 8 . 1 2 . 2 2 , 全文, 全図 & J P 9 - 2 0 2 6 9 9 A , 全文, 全図	1 - 3
A	J P 5 - 3 3 0 9 9 1 A (日本電信電話株式会社) , 1 9 9 3 . 1 2 . 1 4 , 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 3
A	W. Koechner et al, 'Effect of birefringence on the performance of linearly polarized YAG:Nd lasers, IEEE Journal of Quaaantum Electronics', June 1970, QE-6, p. 557-566	1 - 3
A	W. Koechner et al, 'Birefringence of YAG:Nd laser rods as a function of growth direction', Journal of the Optical Society of America, June 1971, Vol. 61, No. 6, p. 758-766	1 - 3
A	Vladimir Parfenov et al, 'Numerical investigation of thermally induced birefringence in optical elements of solid-state lasers', Applied Optics, 20 September 1993, Vol. 32, No. 27, p. 5243-5255	1 - 3
A	I. Shoji et al, 'Thermal birefringence in Nd:YAG ceramics', Trends in Optics and Photonics Vol. 50, Advenced Solid-State Lasers, 2001, p. 273-278	1 - 3
A	L. N. Soms et al, 'Problems of depolarization of linearly polarized light by a YAG:Nd laser active element under thermally indued birefringence conditions', Sov. J. Quantum Electronics, March 1980, Vol. 10, No. 3, p. 350-351	1 - 3

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.